重庆市工程建设标准

雷达法检测混凝土结构质量技术标准

Technical specification for testing concrete structure by radar method

DBJ50/T-289-2018

主编单位:重 庆 市 建 筑 科 学 研 究 院
重庆建工第八建筑工程有限责任公司
批准部门:重 庆 市 城 乡 建 设 委 员 会
施行日期:2 0 1 8 年 5 月 1 日

2018 重 庆

重庆市城乡建设委员会文件

渝建发〔2018〕14 号

重庆市城乡建设委员会
关于发布《雷达法检测混凝土结构质量技术标准》的通知

各区县(自治县)城乡建委,两江新区、经开区、高新区、万盛经开区、双桥经开区建设局,有关单位:

现批准《雷达法检测混凝土结构质量技术标准》为我市工程建设推荐性标准,编号为 DBJ50/T-289-2018,自 2018 年 5 月 1 日起施行。

本标准由重庆市城乡建设委员会负责管理,重庆市建筑科学研究院负责具体技术内容解释。

重庆市城乡建设委员会

2018 年 2 月 26 日

前　言

根据重庆市城乡建设委员会《关于印发2010年工程建设标准制订、修订计划项目计划的通知》(渝建[2010]265号)的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准主要技术内容是：1 总则；2 术语与符号；3 雷达检测设备及参数选择；4 现场检测；5 数据处理与检测报告；附录等。

本标准由重庆市城乡建设委员会负责管理，重庆市建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送重庆市建筑科学研究院(地址：重庆市渝中区长江二路221号，邮编：400020)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人、审查专家

主 编 单 位： 重庆市建筑科学研究院
重庆建工第八建设有限责任公司

参 编 单 位： 重庆建工第三建设工程有限责任公司
重庆市渝北区建设工程质量监督站
重庆华硕建设有限公司
后勤工程学院
重庆大学
重庆市綦江区城乡建设委员会
重庆市万州区城乡建设委员会
重庆教育建设（集团）有限公司
重庆市奉节县城乡建设委员会
重庆市北碚区城乡建设委员会
重庆新科建设工程有限公司
重庆建工第七建筑工程有限责任公司
重庆建工第十一建筑工程有限责任公司

主要起草人： 付　烨　林文修　刘立军　刘兴远　杨　东
贺　渝　李伯勋　刘　敏　吴曙光　颜丙山
封承九　黎　志　曾有财　王　平　黄赤明
刘　杰　张　玲　卓勇刚　叶　松　陈杰云
吴麒麟　聂　波　高　峰

审 查 专 家： 陈高瞻　全学友　谷　军　冯永能　龚文璞
余　斌　周尚永

目　次

Contents

1 总 则

1.0.1 为规范雷达法检测技术在混凝土结构质量检测中的程序、方法和数据处理，保证现场检测工作质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于雷达法检测混凝土结构中的钢筋及其他内部埋设物数量及位置、构件截面尺寸和混凝土内部缺陷。

1.0.3 雷达法检测混凝土结构施工质量除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术 语

2.1.1 雷达法 ground penetrating radar methods

利用不同介质电磁波阻抗和几何形态的差异，在时间或空间坐标系内获得不同频率、波幅及波形特征的反射回波图像，并进行分析的方法。

2.1.2 雷达检测系统 ground penetrating radar test aggregate

由地质雷达主机、天线、外接设备等硬件及分析软件共同组成的用于目标体检测的设备体系。

2.1.3 雷达主机 radar control unit

对采集信号进行控制、处理和数据存储的设备。

2.1.4 雷达天线 radar antenna

雷达用来辐射和接收电磁波并决定其探测方向的设备（物理带通滤波器）。

2.1.5 中心频率 main frequency

频带或频程的上限与下限频率的几何平均值。

2.1.6 垂直分辨率 vertical resolution

雷达能够分辨的物体的垂直于检测面方向（电磁波辐射方向）上的最小尺度。

2.1.7 水平分辨率 horizontal resolution

雷达能够分辨的物体的平行于检测面方向（天线移动方向）上的最小尺度。

2.1.8 时窗 range

雷达系统对反射波信号取样的时间范围。

2.1.9 采样率（采样点数/道） samples per scan

垂直于检测面方向上系统每秒从连续信号中提取并组成离散信号的样本个数。

2.1.10 采样间距(道间距) sample interval

测线方向上相邻两道数据的时间或空间距离。

2.1.11 相对介电常数 relative permittivity

外加电场(真空中)与介质中削弱电场比值。

2.1.12 雷达探测深度 radar detecting depth

雷达所能探测到的最深目标物有效信号的位置。

2.1.13 增益 Gain

对雷达波信号进行放大或补偿的处理。

2.1.14 时域偏移处理 Migration time domain

时域内对目标散射信号进行归位的处理。

2.1.15 天线辐射角度 antenna radiation angles

某一极化方向上雷达天线可探测扇形范围(功率主瓣)的夹角。

2.1.16 测区 test zone

在一个待检混凝土结构表面上,根据约定的检测项目,随机布置的一个或若干个检测区域。

2.1.17 测点 test point

在一个检测区内,按检测方法的要求,随机布置的一个或若干个检测点。

2.1.18 测线 test line

在一个检测区内,按检测方法的要求,沿特定方向布置的连续检测点。

2.2 符 号

2.2.1 性能参数符号

x—— 垂直分辨率;

f —— 天线中心频率，$1MHz=10^6Hz$，$1GHz=10^9Hz$；

w—— 时窗；

S_p—— 采样率。

2.2.2 计算参数符号

c—— 电磁波在真空中的传播速度，取 0.3m/ns，$1\ ns=10^{-9}\ s$；

v —— 电磁波在介质中的传播速度；

ε_r—— 介质的相对介电常数；

h_{max}—— 最大探测深度。

3　雷达检测设备及参数选择

3.1　雷达检测设备

3.1.1　雷达检测系统应具有产品合格证书，使用前应校准。

3.1.2　雷达主机、天线及外接设备的产品质量应符合国家现行相关标准的规定。

3.1.3　雷达检测系统应满足性能稳定、部件牢固可靠、防潮、抗震和绝缘性能良好的要求。

3.1.4　雷达检测系统主要性能及技术指标宜符合下列规定：

1　系统信噪比大于110；

2　系统增益大于150dB；

3　系统具有可选的信号叠加、时窗、实时滤波、增益、点测或连续测量、位置标记和定位等功能；

4　系统信号稳定性变化小于1%；

5　系统走时线性度(速度因子偏差及光速偏差)小于5%；

6　系统长期稳定性变化小于3%；

7　系统测距误差小于0.3%；

8　系统时基精度小于0.02%，计时误差小于1.0ns。

9　系统主机分辨率小于5ps、最大扫描速度大于100扫/秒、脉冲重复频率大于100kHz；

10　系统A/D转换的动态位数大于16位；

11　有多种频率的天线可供选择；

12　实时监测与显示具有多种选择方式；

13　雷达设备外壳防护等级大于IP54。

3.1.5　雷达的使用、运输和保管应符合产品使用书的规定，且应定期进行保养和校准。

3.2 雷达参数选择

3.2.1 雷达天线中心频率的选择宜符合下列规定：

1 天线中心频率宜按下式计算确定：

$$f=\frac{150}{x\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{3.2.1}$$

式中：x—— 垂直分辨率（单位：m）；

ε_r—— 材料相对介电常数；

f—— 为天线中心频率(单位：MHz)。

2 根据混凝土构件内目标探测深度或距离，天线中心频率可按表 3.2.1 确定；

表 3.2.1 混凝土介质内目标探测深度或距离与中心频率关系

目标探测深度(m)	中心频率(MHz)
0～0.3	≥2000
0.3～0.5	1000～2000
0.5～1.0	600～1600
1.0～1.5	400～900
1.5～2.5	400～600
2.5～5.0	200～400

3 检测深度相同时，天线中心频率宜选择较高的频率。

3.2.2 采用分离式天线检测时，发射天线与接收天线的间距可按下式计算确定：

$$s=\frac{2h_{\max}}{\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{3.2.2}$$

式中：s—— 发射天线与接收天线的间距(单位：m)；

$h_{\max}$—— 最大探测深度(单位：m)。

3.2.3 时窗选择可按下式估算：

$$w=1.3\times\frac{2h_{\max}}{v} \tag{3.2.3}$$

式中：w—— 时窗长度（单位：ns）；

v—— 雷达波在被测介质中的平均波速（单位：m/ns）。

h_{max}—— 最大探测深度（单位：m）。

3.2.4 采样率 S_p 的宜按下式估算：

$$S_p \geqslant 3wf \times 10^{-2} \quad (3.2.4)$$

式中：S_p—— 采样率；

w —— 时窗长度（单位：ns）；

f—— 天线中心频率（单位：MHz）。

3.2.5 水平采样间隔不应大于目标物的最小水平尺寸的0.3倍。

3.2.6 当无实测材料的相对介电常数时，常见材料的相对介电常数可按表 3.2.6 选取。

表 3.2.6 常见材料的电磁属性

介质名称	相对介电常数	介质名称	相对介电常数
空气	1.0	PVC 材料	3.0
干混凝土	5.0-10.0	湿混凝土	10.0-20.0
水	81.0	冰	3.0-4.0
湿沙	15.0-20.0	干燥沙	3.0-4.0
水泥	4.0-6.0	乳胶	24.0
沥青	4.0-5.0	石膏	1.8-2.5
橡胶	2.0-3.0	聚苯乙烯颗粒	1.1-1.5
花岗岩	5.0-8.0	大理石	6.2
云母	7.0-9.0	金刚石	2.8
砂岩	6.0	页岩	5.0-15.0
石灰岩	7.0-9.0	玄武岩	8.0-9.0
木材	2.8	纸	2.5

4 现场检测

4.1 一般规定

4.1.1 检测前应调查工程建设基本情况，收集与混凝土构件有关的技术资料，调查待检工程周边环境情况，制定检测方案。

4.1.2 雷达检测系统检测混凝土结构施工质量时应符合以下规定：

1 所选设备使用环境条件应符合设备使用说明书的规定。

2 混凝土构件检测区域表面应无颗粒杂物或障碍物，表面清洁、平整。

3 混凝土构件检测面单边尺寸宜大于所选天线耦合面尺寸。

4 雷达检测系统应能从干扰背景场中分辨被测目标体激发的异常电磁场。

4.1.3 雷达检测系统检测时宜选择屏蔽天线。若选择非屏蔽天线，应详细记录干扰源的分布及雷达波响应，天线操作人员应避免佩戴金属物品或带有电磁辐射的电子设备。

4.1.4 雷达开机后应确保采集系统正常工作，雷达仪器设备的使用应符合本标准 3.1.5 条的规定。雷达检测系统用于现场检测前应进行校准，校准工作宜符合本标准附录 A 的规定。

4.1.5 雷达法检测混凝土构件施工质量时，现场检测宜按图 4.1.5规定的流程进行。

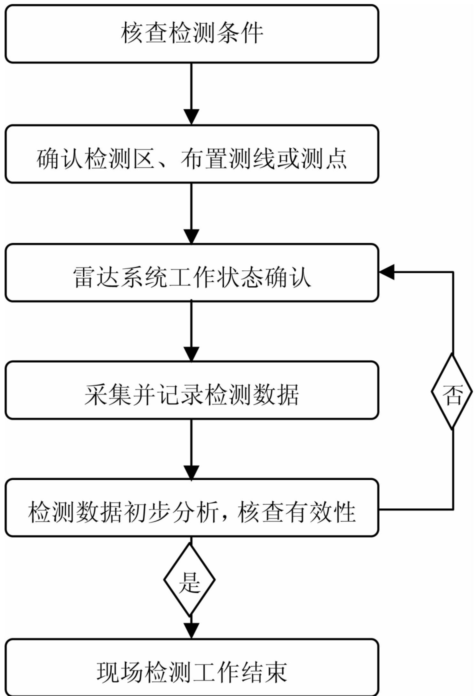


图 4.1.5　雷达法检测流程

4.1.6　根据检测项目、要求和现场检测条件，合理布置检测测线（测点），测线（测点）布置应符合以下规定：

1　应准确确定测区位置，并对测区内的测线（测点）进行标识和记录；

2　测线（测点）布置应考虑混凝土构件边界效应的影响，起始测点距混凝土构件外边缘的距离宜大于雷达系统水平分辨率，外侧测线（测点）距混凝土构件外边缘的距离宜大于 25mm；

3　测线（测点）布置应避免外部金属构件或其它电磁波源的干扰。

4.1.7　雷达法检测混凝土构件可选择剖面法，也可根据检测精度和探测距离的需要选择透射法和钻孔法进行检测。

4.1.8　雷达法检测时宜先确认混凝土结构的实际抗压强度，且

应对检测构件的介电常数进行校准。介电常数宜根据已知目标深度(厚度)进行校准,同类混凝土构件校准点数不宜少于3点,介电常数取3点的算术平均值。

4.1.9 数据采集应符合以下规定:

1 应标定检测面记录的反射波起始零点,在初始设置时应扣除起始零点以前的时程;

2 数据采集过程中,天线应紧贴测试面、匀速移动,记录雷达测线图,并标识和记录测线经过的物体;

3 数据采集时,同类测线的布置方向宜平行或垂直;

4 数据采集时,不宜滤波。

4.1.10 雷达法检测数据记录应符合下列规定:

1 现场检测混凝土结构施工质量时,应有对应的原始记录,原始记录可按附录B的规定执行。

2 原始记录内容完整、真实;且应符合以下规定:

1) 纸质记录不得擦改、涂改、转抄;确需修改更正原始记录时,应在原记录文字上进行杠改,杠改后将正确的数据或内容填写在其旁边,并应标注更正原因,更正的检测人员应在更正数据旁签字确认。

2) 对电子记录的原始数据应导出至移动存储设备或光盘上存档,电子文件名称应与纸质原始记录一致。

4.1.11 雷达检测系统运行过程中,操作人员应背离天线直接辐射区域;在特殊条件下必须面向辐射区工作时,应采取适当的安全防护措施。

4.2 钢筋数量、间距及保护层厚度检测

4.2.1 雷达法用于检测混凝土构件内钢筋数量、间距及保护层厚度时,委托单位宜提供混凝土结构施工图或竣工图。

4.2.2 检测混凝土结构钢筋数量、间距时应符合下列规定:

1 雷达天线中心频率宜大于 900 MHz；当钢筋间距较小时，中心频率宜大于 1500MHz；

2 测线布置除应符合本标准第 4.1.6 条的规定外，测线宜垂直于钢筋走向；

3 当检测钢筋时，检测面曲率半径 R 宜满足下式的规定：

$$R > 0.025a^2 + 2.5 \tag{4.2.2}$$

式中：a —— 沿圆弧割线或切线方向的天线尺寸。

4 对梁柱构件应根据委托要求检出检测面的所有主筋；

5 当有多个检测面时，实测检测面不宜少于 2 个，2 个检测面宜相互垂直；

6 对板、墙构件应连续检出检测面的 7 根钢筋，少于 7 根时应全部检出；

7 检测构件内双层、多层钢筋时，检测面不宜少于 2 个测面；对构件外边缘钢筋，可采用辅助垫块、多个主频天线等方式进行探测。

4.2.3 检测构件混凝土保护层厚度时应符合下列规定：

1 当混凝土保护层厚度小于 50mm 时，雷达天线中心频率不应低于 1500MHz；

2 测线布置应符合本标准第 4.2.2 条的规定；

3 保护层厚度检测点数量应符合现行国家标准《混凝土结构施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定；

4 雷达检测系统软件识别保护层厚度精度不宜低于 1mm。

4.2.4 对雷达法检测出的混凝土构件钢筋数量、间距及保护层厚度有怀疑时，应采用剔凿法或其他检测方法进行验证；验证检测应符合现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的有关规定。

4.2.5 雷达检测系统校准后，可按本标准第 4.2.2 条的规定检测混凝土构件内预埋管线的位置。

4.3 构件内部缺陷检测

4.3.1 当混凝土构件仅有一个检测面时，宜优先采用雷达法检测混凝土构件内部缺陷。

4.3.2 雷达法检测构件混凝土内部缺陷时，雷达参数选择宜符合本标准第 3.2 节的相关规定。天线主频频率范围宜为 600MHz 以上，且符合本标准第 4.1.8 条的规定。

4.3.3 雷达检测构件混凝土内部缺陷时应符合下列规定：

1 检测前应测出钢筋数量及间距；

2 测线布置应避开钢筋密集区，且测线布置应覆盖疑似缺陷区域；

3 当存在多个检测面时，对疑似缺陷区域应选择不少于 2 个相互垂直的检测面进行检测；

4 对检测数据有疑问时，可采用多个中心频率的天线进行复核检测。

4.3.4 当检测区域存在钢筋干扰或情况较为复杂时，现场检测宜符合以下规定：

1 选取辐射角度较小的天线；

2 水平采样间隔距离宜为 50mm～80mm；

3 测线布置时应考虑钢筋干扰对检测结果的影响，避免测线的投影与干扰钢筋的走向重合；

4 扫描时天线的极化方向宜与干扰钢筋的走向平行；

5 对疑似缺陷的检测区域应进行测线加密，重复检测，综合多条测线数据进行分析。

4.3.5 雷达检测数据处理及图像分析应由检测数据、图像分析确定缺陷位置，或使用三维成像技术表达缺陷位置。

4.3.6 对混凝土构件内部缺陷判定结果有怀疑时，可采取局部钻芯方法进行验证。

4.3.7 雷达法检测混凝土结构内部缺陷时，宜符合以下规定：

1 现场检测记录宜按附录 B 的规定执行；

2 应绘制检测区域总平面图、雷达测线布置图及缺陷的位置、分布平面图或立面图；

3 宜在缺陷位置、分布平面图或立面图上标注缺陷性质、埋深等参数。

4.4 构件几何尺寸检测

4.4.1 当仅有一个检测面时，宜采用雷达法检测与检测面垂直方向的构件的几何尺寸(分层厚度)或深度，对检测结果有怀疑的情况，应采用其他直接检测方法进行验证。

4.4.2 雷达法检测构件几何尺寸时应按本标准第 4.1.8 条的规定进行标定。

4.4.3 构件几何尺寸(分层厚度)或深度检测应符合下列规定：

1 检测前宜测出钢筋位置，测点(测线)位置应避开钢筋密集区；

2 测区测点应有代表性，测点总数不宜少于 5 个测点，每个测点检测重复次数不应少于 2 次；

3 当有 2 个相互垂直的检测面时，应选择有代表性的测点，每个测面的测点数不应少于 3 点。

4.4.4 构件几何尺寸(分层厚度)的检测记录宜符合本标准附录 B 的规定。

5 数据处理与检测报告

5.1 原始数据处理

5.1.1 原始检测数据应确保完整可靠。

5.1.2 数据分析前宜根据检测参数需要对原始数据进行滤波处理,滤波应符合下列规定:

1 应记录背景噪声信息,且进行背景去噪处理。

2 根据天线中心频率初选滤波参数,对滤波数据进行频谱分析,获得较为准确的频率分布参数后,再细化滤波参数,重新对原始数据进行滤波处理。

3 为消除地面以上物体反射干扰,可采用二维滤波处理。

5.1.3 对原始数据宜进行数据增益、增强处理;对检测多排钢筋原始数据宜有选择地进行反滤波处理(反褶积处理)、偏移处理等。

5.1.4 单个雷达图像分析应符合下列规定:

1 根据反射波组的波形和强度特征对同相轴进行追踪,识别反射波组界面特征;

2 根据检测面环境观察记录,了解检测面干扰源分布,估计干扰反射波组在雷达剖面图像的位置,并根据其具体特征进行识别;

3 识别检测表面干扰反射波;

4 确定反射波组的同相性和相似性;

5 从垂直走向的剖面开始,逐条剖面确定反射界面点,将剖面确定的反射界面点全部连接。

5.1.5 雷达图像数据解释,宜符合下列规定:

1 结合多个相邻剖面雷达图像,确定数据之间的相关性;

2 结合现场的实际情况，将探测区域表面情况和实际探测图像进行比对分析；

3 将探测到的单张雷达图像和典型的经过验证的雷达图像进行比对分析。

5.2 检测数据分析

5.2.1 按本标准第5.1节的规定进行数据处理，分析解读图像信息，获得目标体检测项目的检测数据。

5.2.2 对单个雷达图像反映的混凝土结构内部缺陷宜根据以下特征进行识别：

1 根据孔洞缺陷典型雷达图像识别孔洞位置、分布；

2 根据裂缝缺陷典型图像特征识别裂缝位置、分布；

3 根据不密实缺陷典型图像特征判定不密实区。

5.2.3 根据已知的分层界面测得的电磁波在结构层（或保温层等）中的双程传播时间 t 和材料的相对介电常数 ε_r，可按下列公式计算结构（构件）的分层厚度 H：

$$v = c/\sqrt{\varepsilon_r} \tag{5.2.3-1}$$

$$H = \frac{1}{2}vt \tag{5.2.3-2}$$

式中：c —— 电磁波在真空中的传播速度，取0.3m/ns，1 ns = 10^{-9} s；

v —— 电磁波在介质中的传播速度；

ε_r—— 介质的相对介电常数；

H —— 分层厚度。

5.2.4 混凝土结构保护层厚度、构件几何尺寸等检测数据处理应符合现行国家标准《混凝土结构施工质量验收规范》GB50204、《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T50784的规定。

5.3 检测报告

5.3.1 检测报告的编制应符合现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T50344、《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 的规定。

5.3.2 雷达法检测报告尚应包含以下内容：

1 待检测结构的外观质量情况，检测时的气候情况、周边环境情况等；

2 雷达设备的性能参数及检测时雷达检测系统的设定参数；

3 雷达检测图像；图像应含有测线方向距离标尺、探测深度标尺及时间标尺，且宜给出检测图像的波列图。

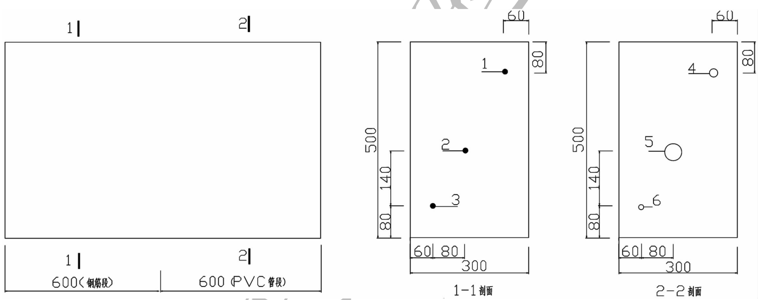
4 混凝土结构的检测结果应用图示方式表达。图示中应对缺陷位置、分布等参数进行标注；保护层厚度可根据要求及检测剖面图绘制“测线距离-厚度”散点图。

附录 A　雷达检测系统校准

A.1　单层钢筋及预埋管线校准

A.1.1　校准试件采用混凝土试件，混凝土应为 C30 混凝土，且混凝土材料不得含有除钢筋以外的铁磁性物质，试件标准养护时间应符合国家现行标准的有关规定。

A.1.2　校准试件为混凝土试件，试件数量为 1 个，且校准试件应符合图 A.1.1 的规定。



注：1-Φ16 钢筋；2-Φ28 钢筋；3-Φ12 钢筋；4-Φ50PVC 管；5-Φ100PVC 管；6-Φ30PVC 管

图 A.1.1　单层钢筋及预埋管线校准试件图

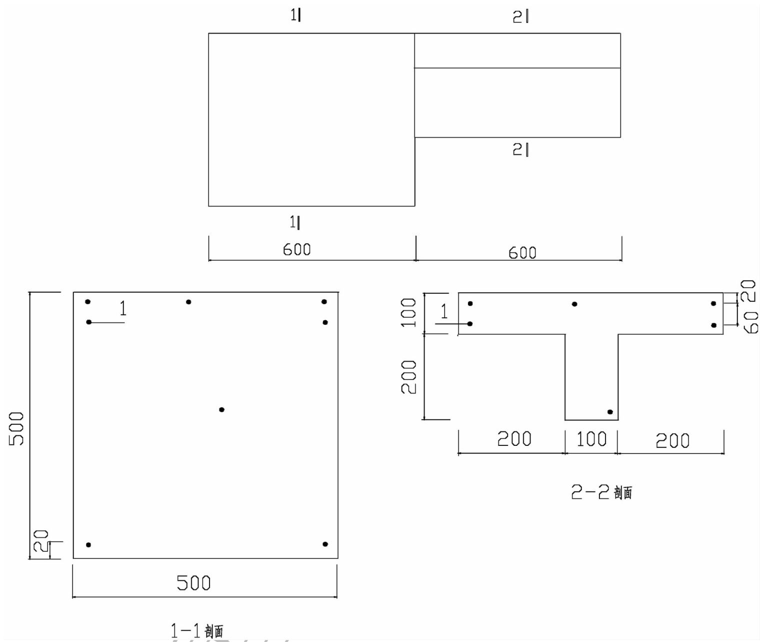
A.1.3　根据雷达使用说明书，按本标准第 4 章现场检测的规定，检测校准试件的钢筋、预埋管的位置和数量，雷达检测系统应准确识别校准试件中钢筋、预埋管的位置和数量。

A.2　双层钢筋、构件分层厚度及保护层厚度校准

A.2.1　校准试件为混凝土试件，试件数量为 1 个。混凝土材料应符合本标准第 A.1.1 条的规定，且校准试件应符合图 A.2.1 的规定，钢筋保护层厚度为 20mm。

A. 2. 2 校准前雷达检测系统应按本附录 A. 1 节的规定校准合格。

A. 2. 3 根据雷达使用说明书，按本标准第 4 章、第 5 章的规定，检测本标准第 A. 2. 1 条规定的标准试件，雷达检测系统应能识别双层钢筋、构件分层厚度及保护层厚度，检测结果剖面图中应能够明显区分各层钢筋及构件分层厚度。



注：1-Φ12 钢筋；共计 8 根；混凝土保护层厚度为 20mm。

图 A. 2. 1 双层钢筋及构件几何尺寸内部校准试件图

A. 3 空洞缺陷校准

A. 3. 1 校准试件为混凝土试件，试件数量为 2 个。混凝土材料应符合本标准第 A. 1. 1 条的规定，且校准试件应符合图 A. 3. 1 的规定。

A.3.2 校准前雷达检测系统应按本附录 A.1 节的规定校准合格。

A.3.3 根据雷达使用说明书，按本标准第 4 章、第 5 章的规定，检测本标准图 A.3.1 规定的标准试件，雷达系统应能准确识别各层位模拟空洞，检测结果剖面图中应能够明显区分各缺陷深度范围内的空洞。

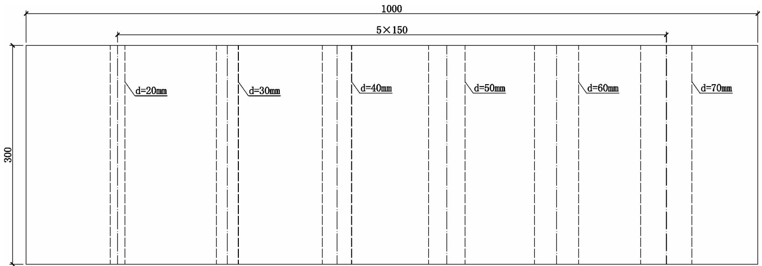


图 A.3.1-1 **混凝土孔隙、空洞模型平面图**

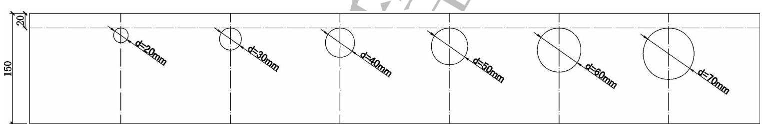


图 A.3.1-2 **试件 1 立面图**

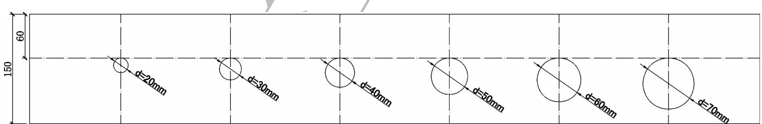


图 A.3.1-3 **试件 2 立面图**

附录B　原始检测记录表

表 B.0.1　混凝土构件几何尺寸、钢筋间距及预埋物检测记录

第　　　页　共　　　页

<table>
<tr><td>工程名称</td><td colspan="2"></td><td>检测日期</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>委托单位</td><td colspan="2"></td><td>检测依据</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>检测仪器及参数设置</td><td colspan="2"></td><td>天线规格</td><td></td><td>仪器编号：</td></tr>
<tr><td>构件名称</td><td>检测部位</td><td>存储文件名称</td><td colspan="2">检测环境条件</td><td>检测参数</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>备注</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

校核：　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　检测：

表 **B.0.2** 钢筋保护层厚度检测记录

第　　页　共　　页

<table>
<tr><td>工程名称</td><td colspan="2"></td><td>检测日期</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>委托单位</td><td colspan="2"></td><td>检测依据</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>检测仪器及参数设置</td><td colspan="2"></td><td>天线型号</td><td></td><td>仪器编号：</td></tr>
<tr><td>修正值 c_c</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td>构件名称</td><td>检测部位</td><td>存储文件名称</td><td colspan="3">检测环境条件</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>备注</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

校核：　　　　　　　　　　　　　　　　检测：

表 **B.0.3**　混凝土结构缺陷检测记录

第　　页 共　　页

工程名称			检测时间	
委托单位			检测依据	
检测仪器及参数设置			仪器编号	
天线型号			构件名称	
测区编号	检测部位	存储文件名称	检测环境条件	测线布置图
备注				

校核：　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　检测：

本标准用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1） 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”；

2） 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

3） 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”；

4） 表示有选择，在一定条件下可以这样做，采用“可”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

1 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300
2 《建筑结构检测技术标准》GB/T50344
3 《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T50784
4 《混凝土结构施工质量验收规范》GB50204
5 《混凝土中钢筋检测技术规程》JGJ/T 152
6 《铁路隧道衬砌质量无损检测规程》TB10223
7 《水利水电工程物探规程》SL326
8 《公路工程物探规程》JTG/T C22

重庆市工程建设标准

雷达法检测混凝土结构质量技术标准

DBJ50/T-289-2018

条文说明

2018 重 庆

制 定 说 明

为了便于广大设计、施工、监理、科研、学校、检测等单位有关人员在使用本标准时正确理解和执行条文规定,《雷达法检测混凝土结构质量技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明,对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明;但是本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力,仅供施用者作为理解和把握标准规定的参考。

目　次

1 总 则

1.0.1 雷达法检测技术在实际物探工程中已得到了广泛使用，雷达法为无损检测方法，为在混凝土结构、构件检测中正确使用雷达法检测技术，提高现场检测工作及数据分析、表达的合理性、科学性、有效性和可靠性，确保检测工作质量，更好地促进该方法的应用和推广，制定本标准。

1.0.2 规定了本标准的适用范围。目前工程实践、实验室试验和理论分析，认为雷达法检测技术较为成熟的检测项目有：混凝土构件中的钢筋数量及位置，混凝土构件截面尺寸（含变截面、分层厚度）、混凝土内埋设物的检测（如预埋管线）及混凝土构件内部密实性（含缺陷，因雷达天线配置不同，识别缺陷的能力有较大差异）。对其他项目的检测，可按《铁路隧道衬砌质量无损检测规程》TB10223、《水利水电工程物探规程》SL326 和《公路工程物探规程》JTG/T C22 等行业规范的规定执行；当多层材料的介电常数差异较大时，如外墙设有保温层，通过比对试验，也可采用雷达法检测各分层材料的厚度。

1.0.3 阐述了本标准与国家、行业及重庆市其他现行标准的关系。需遵守协调一致、互相补充、避免技术矛盾或冲突的原则。雷达法现场检测时，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家现行相关技术标准（如《建筑结构检测技术标准》GB/T50344、《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T50784、《铁路隧道衬砌质量无损检测规程》TB10223 等）的规定。

3 雷达检测设备及参数选择

3.1 雷达检测设备

3.1.1 雷达检测方法为间接检测方法，设备部件较多，其检测效能受雷达检测系统稳定性、连接可靠性、周边环境等因素影响较大。检测前雷达检测系统应进行校准，受现有条件限制，计量单位对雷达检测系统的校准存在一定困难，因此，使用前宜按本标准第 4.1.4 条规定的校准方法，对雷达检测系统进行内部校准，且应记录校准结果。

3.1.4 雷达法为间接检测方法，设备部件较多，设备稳定性、连接可靠性等多种因素均可影响检测结果，因此，雷达检测系统的使用应在其校准有效期内使用；各厂家生产的产品，其设置参数，设备性能，软件等有较大差异，为保证检测数据的有效性，规定了仪器设备应具备的基本条件。

为确保雷达系统技术检测指标的精度和有效性，雷达检测系统宜符合下列规定：

1 信噪比检测：对于空气耦合天线，将雷达天线放在方形钢板上方，钢板尺寸应至少是天线尺寸的 4 倍以上；对于地面耦合天线，则应用水作为测试耦合介质。同类规范建议记录下 100 个反射波波形，利用如下公式评价其信噪比水平：

$$\text{信噪比}=\frac{\text{信号水平(信号波幅)}}{\text{噪音水平(噪音波幅)}}$$

取所记录的所有波形的信噪比平均水平作为信噪比水平。其中，噪音水平取单道子波后到一半时间窗口（时间窗口长度取天线中心波长 20 倍）间的最大波幅；信号水平取金属板反射波波幅。

2 信号稳定性检测：同信噪比检测。记录下信号采集时100个反射波波形。利用如下公式评价其信号稳定性：

$$K = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{avg}}$$

式中：K—— 信号稳定性水平；

$A_{\max}$—— 100个反射波幅中的最大值；

$A_{\min}$—— 100个反射波幅中的最小值；

A_{avg}—— 100个反射波幅的平均值。

7 雷达系统动态范围表征接收机正常工作所允许的输入信号强度的变化范围，是接收机开始出现过载时的输入功率与最小可检测功率(灵敏度)之比。较大的设备动态范围，其允许输入的信号功率越大且不失真。

5 走时线性度偏差。记录下雷达反射波形，测量出天线到钢板之间的距离。通常选用雷达检测系统时间窗口的15%、30%、50%所对应的不同反射距离进行检测。读取反射信号到时和测量位置的距离，计算相应位置时的速度偏差δ_v和光速偏差δ_c，其定义公式如下：

速度偏差：$\delta_v = |v_{32} - v_{21}| / (v_{32} + v_{21})^{1/2}$

光速偏差：$\delta_c = \frac{|v_{31} - c|}{c}$

式中：v_{21}—— 位置1到位置2的速度；

v_{32}—— 位置2到位置3的速度；

v_{31}—— 位置1到位置3的速度；

c—— 光速。

6 长期稳定性检测：在雷达系统连续工作2小时内每1分钟采集1次数据，逐一分析120个波形，评价其长期稳定性公式如下：

$$K_t = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{20}}$$

式中：K_t—— 长期稳定性检测水平；

A_{20}—— 20 分钟时所测得的反射波幅；

A_{max}—— 从 20 分钟到 120 分钟检测所得波形的最大波幅；

A_{min}—— 从 20 分钟到 120 分钟检测所得波形的最小波幅；

7 雷达系统测距误差越小，表示其对尺寸测试结果精度越高，雷达法检测结果测试误差受相对介电常数影响及所选用的天线中心频率影响较大，该误差标准适用于中心频率大于 200MHz 天线测试结果。

8 雷达系统时基精度即设备自身时间基准的精度，其影响电磁波传播走时，进而影响测距精度，时间基准精度越高，检测结果准确性越好。

9 雷达系统主机分辨率区别于天线分辨率，高于天线分辨率。雷达系统主机最大扫描速度越大，其高速扫描所实现水平尺度分辨能力越高。雷达系统主机脉冲重复频率越大，其实现高速扫描的能力越强。

10 雷达系统 A/D 转换的动态位数为模数转换精度，要求不低于 16 位。

13 雷达设备外壳防护等级综合考虑其防尘及防水，要求其尘埃进入量不得影响设备正常运行。

3.1.5 为保证雷达检测系统的工作效能，需正常使用、运输、维护和保养雷达系统的仪器设备。如雷达仪器经过大修、长期停用半年以上后再次投入使用前，应校准雷达检测系统，雷达应注意防水、防潮、防曝晒和防剧烈震动等。

3.2 雷达参数选择

3.2.1 天线中心频率的选择直接影响到工程探测项目的检测效果，常用雷达天线频率范围 15MHz～2.6GHz（最高已接近 5.0GHz），其中低频段可用于较大深度的地质探测；混凝土结构构件检测中天线频率主要集中在 200MHz 以上的高频率段，因此正

确、合理地选择天线中心频率至关重要。雷达天线中心频率选择错误，雷达系统无法识别被检测对象，因此，在本标准第 5.3.1 条中规定应给出雷达检测系统所设参数，待检项目的物理、几何参数，可以初步判断雷达检测系统是否可以检出待检参数。

雷达天线中心频率选取的经验公式中，垂直分辨率可取 $x=\lambda/2$，λ 为理论雷达波波长，实际波速以标定结果为准。

天线中心频率与垂直分辨率的定性关系见表 1。

表 1　垂直分辨率与中心频率的定性关系

垂直分辨率(m)	中心频率(MHz)
0.050	1000
0.020	2500
0.010	5000
0.005	10000

注：本表假设相对介电常数为 9，其他情况可按公式 3.2.1 计算。

表 3.2.1 给出了混凝土结构(构件)中目标探测深度(距离)与部分代表性单天线中心频率范围的关系，为便于实际工程应用，可根据工程中预估的目标探测深度或距离直接查表 3.2.1 选取雷达天线的中心频率。一般混凝土构件的截面高度或厚度小于 5m，因此，本表仅给出了目标探测深度在 5m 以内的中心频率选择建议，当目标探测深度大于 5m 时，应根据实际情况，选择合适的雷达天线中心频率。关于探测深度(距离)和天线频率之间的关系，介质特性对探测深度有较大影响，高衰减介质中的探测深度比低衰减介质中的探测深度要浅，在同样可以满足分辨率要求的情况下，低频天线可实现更深的探测深度，因而该经验关系在各测试深度(距离)分界点允许了一定程度的频率交叉范围。天线阵列式雷达的探测能力由其天线的中心频率、数量和天线布置形式等参数决定。

根据 $v=\lambda\times f$，天线的中心频率越高，波长越短，因而所能达到垂直分辨率越高，探测深度相同的含义是指能保证同样的目标

体识别能力，即不同频率的天线其探测深度、分辨率不同。天线频率越高，其探测分辨率越高，探测深度（距离）越小，即天线频率与分辨率成正比，与探测深度（距离）成反比，应根据实际工程中具体的探测深度（距离）选择合适的天线中心频率。公式（3.2.1）中的分辨率 x 指的是雷达的垂直分辨率，其理论值为 0.5 倍波长，公式（3.2.1）反映的是它与天线中心频率及材料相对介电常数之间的关系。雷达的水平分辨率取决于扫描线间距及天线辐射角度。

3.2.2 在雷达法检测混凝土结构中使用分离式天线时，适当选取发射与接收天线之间的距离，可使回波信号增强，偶极天线在临界角方向的增益最强，因此天线间距 S 的选择应使最大检测的目标体相对接收与发射天线的张角为临界角的 2 倍。

实际测量中，天线距的选择常常小于该计算数值。一方面因为结构几何尺寸有限，过大的天线间距增加测量工作的不便；另外随着天线间距增加，垂直分辨率降低，已有试验数据及资料显示：当天线距 S 接近目标体深度的一半时，该影响将大大加强。

3.2.3 时窗的选择应根据最大探测深度 h_{max} 而定，它是对回波信号取样的最大时间范围。一般选取探测深度 h 为目标深度的 1.2～1.5 倍；由于介质内部不均导致电磁波速度变化进而带来的目标物深度发生变化，时窗的适度增大目的是留出探测余量。

3.2.4 采样率代表采样点间的时间间隔。目前多数探地雷达系统，频带与中心频率之比为 1∶1，即发射脉冲能量覆盖的频率范围为 0.5～1.5 倍中心频率，按尼奎斯特（Nyquist）采样定律所计算采样速率至少要达到天线中心频率的 3 倍。现有资料显示：按 Nyquist 定律，为使记录波形更完整，建议采样率为天线中心频率的 6 倍。实际操作中，需经过现场试验，以能达到清晰有效地反应被测目标体为宜。

3.2.5 水平采样间隔决定雷达法检测的水平分辨率，应保证被测目标物接收并反射不少于 3 次雷达扫描，在自由测量时应按移

动速度控制道间距，测量轮测量应在标定完成后根据被测目标体预计大小合理设置单位时间内的道数。

3.2.6 表中材料的相对介电常数可直接用于定性判断，在需要定量测量时，应按本标准相应规定进行标定。根据 $v=\lambda\times f$，分辨率 x 指的是雷达的垂直分辨率，其理论值为 0.5 倍雷达电磁波波长，将公式(3.2.1)及 $x=\lambda/2$ 代入 $v=\lambda\times f$ 得：$v=300/(\varepsilon_r)^{1/2}$（波速的量纲为 mm/ns），即已知相对介电常数经计算可获得表 3.2.6 数据关系，换言之，当介质单一时，可采用测量电磁波速的方法，估算介质相对介电常数。

4　现场检测

4.1　一般规定

4.1.1　雷达法检测效果的可靠性除与雷达检测系统的配置等因素有关外，还受检测环境条件的及先验知识的制约。雷达法检测前应充分了解被测对象的基本资料，如地质勘察资料、施工图，设计变更、竣工图，检测资料及已往工程变更、修复、处理记录等，调查待检工程周边环境情况，如已有埋设物位置、方向及电磁特性等，初步判断已有环境条件对检测数据的影响，有助于后期根据剖面图进行数据解释；编制合理的、可操作的现场专项检测方案。专项检测方案的编制应按《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T50784 的有关规定执行，如不同的检测项目在抽样频率、测点布置、数据整理方法上均有规定，应予遵守。

常用的资料包括：地质勘察资料、施工图，设计变更、竣工图，检测资料及已往工程变更、修复、处理记录等。

4.1.2　雷达检测系统检测混凝土构件施工质量时，环境条件应满足检测相应的规定。

1　规定了检测环境条件应满足检测设备正常工作的条件。如在检测过程中，若环境温度超过 40℃ 后，应对主机采取遮盖、风冷等降温措施。雷达天线应按使用说明要求采取适当的降温措施，但降温措施不得影响雷达系统的正常工作。

2　混凝土构件检测中常受到预埋管线、预埋件及其他附着物等障碍，在无法避开障碍设置测线时，可在原始记录中记录障碍物特征。若目标物为非等轴状，宜明确目标物的走向、倾向和倾角。

3　为提高检测精度，避免出现检测盲区，规定了检测面最小

检测尺寸，当不满足此规定时，可采用辅助手段人为增大检测面尺寸等方法后再对被检对象进行检测。

4.1.3 目前行业内高频率段多以屏蔽天线产品为主。外界电磁环境等干扰对雷达检测反射波信号的采集影响很大，多信号不同电磁作用均会引起信号反射，使雷达反射波异常复杂和混乱，记录的信号无法识别目标体，屏蔽天线可降低或减少外界电磁信号的影响确保雷达检测数据的可靠性，故雷达检测系统宜优先选择屏蔽天线。

4.1.4 检测开始前，根据检测项目的具体要求选择合适的通道，选择相应的驱动程序，采集软件参数设置应正确合理。根据不同的检测条件，选择适当的参数增益标定，确保雷达图像可判读，增益的方法可选自动增益和手动增益，避免削波。为检查雷达检测系统的有效性，在现场检测前雷达设备的校准除明确设备自身的稳定性以外，尚宜按本标准附录A的规定对雷达检测系统进行内部校准，以统一后期图像识别及目标体判定标准，便于检测人员进行图像解析。

4.1.5 雷达法检测混凝土构件施工质量时，现场检测流程宜按图4.1.6规定进行；该规定与现行国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T50784等有关标准的规定是一致的。

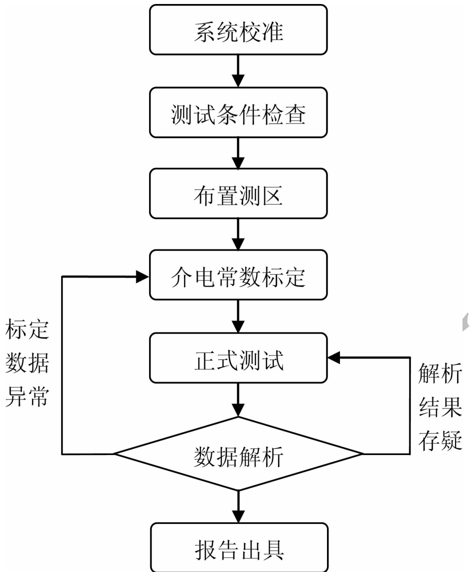


图 4.1.5　**雷达法检测流程**

4.1.6　检测开始前，根据检测方案对检测环境的调查和检测目的约定，合理布设测线或测点，确保覆盖被测目标体。可根据需要建立测区相对坐标系，绘制 X、Y 双向坐标网格线，且标注测线经过的或邻近的物体（含物体特性）。雷达测线布置示意图如图 4.1.6 所示。

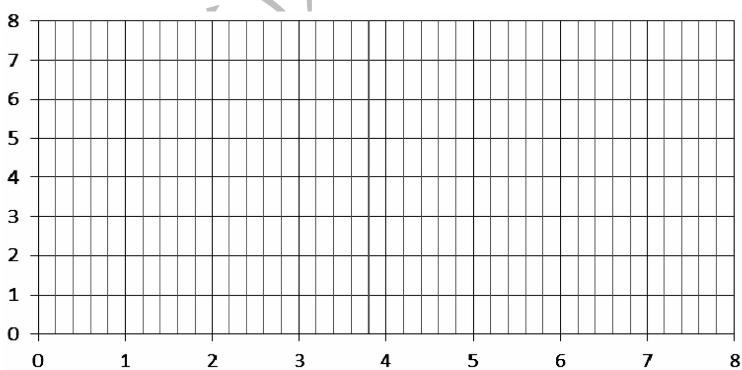


图 4.1.6　**雷达测线布置图**

在进行某范围内覆盖式扫查时，可先用大网格如300mm初查以确定目标物的范围，在目标体范围内加密网格如50mm测网进行详查。对于某些检测情况需要呈现立体式检测结果，可以采用三维探测方式，获得被探测体三维图像。在被测目标体分布情况复杂或探测条件苛刻的情况时，可采用不规则布置测线的方式，适当减小测线间距，避免有用的数据丢失。测线布置前应着重调查以下情况：

1 介质及目标物电性特征：雷达法检测结果的可识别性取决于介质与被测目标体电性差异，其直接影响到是否有足够的反射能量被天线所接收并解析；在受检混凝土配筋较为密集或表面挂钢丝网的情况下，将明显影响检测效果，故测线布置应尽量避开上述位置。

2 目标物尺寸及位置：资料及试验显示目标物的最小横向尺寸宜大于目标物深度的0.1倍，当天线扫描接近构件边缘时，应注意边界效应对检测结果的干扰；测区边界效应是指在天线移动至混凝土构件边缘，由于反射回波缺失或图像畸变造成误判或漏判的可能，应在检测过程中注意避免，才能保证目标物被有效探测。若目标物为非等轴状，应明确目标物的走向、倾向和倾角。

3 测区环境：非目标体金属构件或其它电磁波源会带来多余的干扰波，影响对目标体的正常判断，甚至造成误判，在检测中应注意避免，并对此应有详细记录。此外检测面的平整度、温度和湿度等条件也会影响检测能否顺利进行。

4.1.8 为确保可以获得较准确的介电常数，需对探测区的雷达波速进行校准。影响测区介电常数（雷达电磁波波速）的主要因素为混凝土强度等级、混凝土类型、含水率、含钢率和钢筋配置位置、所测方向目标物的尺寸等。当目标物探测深度（测试方向尺寸）难以确定时，可采用钻孔取芯等方式加以确认。雷达电磁波波速与相对介电常数有如下关系，$v=c/(\varepsilon_r)^{1/2}$（c取0.3m/ns），亦可对相对介电常数进行校准，常见物质相对介电常数值见本标准

表 3.2.6，相关说明详见本标准第 3.2.6 条的条文说明。

已知目标深度法相对介电常数的校准应用较为广泛，适用于各种天线，操作简单，结果直观，比较实用。资料显示除该方法外，还可采取点源反射体法、共中心点法和层状反射体法等。点源反射体法适用于收发一体式天线，要求目标物的埋深已知，且有足够的反射能量被系统识别；共中心点法和层状反射体法用于收发分离式天线，应尽量确保层状反射体标定物层位清晰，以获取同相轴连续数据。

如某隧道工程的二次衬砌混凝土的介电常数检测。检测时使用美国出产的 SIRveyor 工程雷达；该雷达由专用电脑、主机、400MHz 天线及相关配件构成。仪器参数设置如下：增益：0～70db；采样点数：1024 点；发射速率：主要为 50 脉冲/秒；时间窗口：30ns；滤波系统：40MHz～900MHz。测线布置：在入口处测试，该测线距地面高度 830mm，测线长为 2m，隧洞使用 C30 混凝土，衬砌厚度为 570mm，采样数据如图 4.1.8 所示。该测线电磁波在衬砌中传播时间为：4.5～5.0ns（单向时间），传播距离为 570mm。经计算入口 C30 混凝土介电常数在 5.61～6.93 之间，介电常数均值为 6.27。

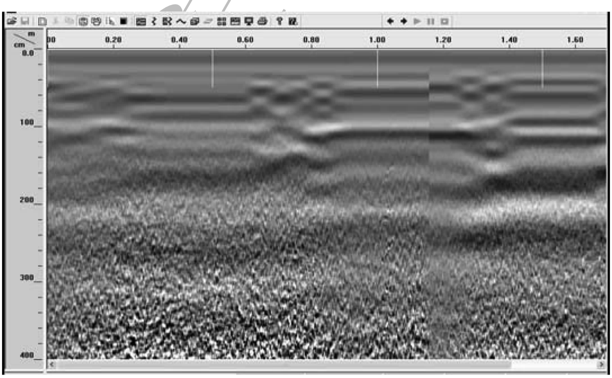


图 4.1.8　隧道右洞右侧雷达成相图

当构件表面有多层介质时，宜根据表层介质的厚度及施工质

量情况，分别对每层介质层的雷达电磁波波速（介电常数）进行校准，当同一介质层内的混凝土沿垂直方向均质性、含水率、含钢量差异较大时，可采用不同深度的目标物进行校准。当构件表面介质厚度较小，对检测参数影响可以忽略不计时，可按单一构件校核介电常数。

在潮湿环境下，被测构件的表层甚至一定深度范围内含水量增加，介电常数明显增大且在探测深度范围内不均匀，定量分析结果的可靠度降低，在进行保护层厚度、截面尺寸及缺陷位置等尺寸相关检测时应开孔验证。另外应对测试天线进行绝缘保护，避免局部短路造成信号畸变甚至设备损坏的情况，屏蔽天线应确保壳体密封完好，对于某些情况不使用的 MARK 接口等应用橡胶帽进行防水密封。

4.1.9 反射波起始零点即为雷达记录时间（入射点）零点，主要受电路、辅助块、受测构件表面平整度的影响，入射点以前的时程数据应扣除，避免在视窗内无法显示被测目标体深度范围。数据采集时应控制天线的移动速度，不同雷达检测系统因其采集速度差异，对天线移动速度要求不同，天线移动速度以目标反射信号清晰可辨为准。为预防采集过程中的滤波滤除某些有效数据，造成原始数据中部分有效信号的缺失，原始采集不宜滤波。

4.1.10 现场检测可依据具体情况，清晰准确地记录检测条件、检测过程及中间结果，检测原始记录应与电子文件一一对应，使检测数据具备溯源性和可重复验证。

4.1.11 在某些特殊复杂条件检测时，如高空作业、高温高湿条件、危险障碍物等，应有针对性地对天线操作人员进行安全教育及防护措施，必要时应采用机械臂或其他辅助措施实施检测。

雷达检测系统启动后，发射天线辐射区域的正常通讯及其他电磁操作可能受到干扰，长时间曝露于电磁场将对人体造成伤害，故操作过程中应按国家现行相关标准的规定保证天线电磁波发射安全，做好安全保护或防护；同时，操作人员不应携带具有较

强电磁辐射的电子设备。

4.2 钢筋检测

4.2.1 雷达法检测数据具备多解性。混凝土构件的实际配筋方式多种多样，当构件钢筋较密集、构造及节点部位复杂时，详尽、准确的施工或竣工图，可以有效帮助检测人员根据所获取的雷达图像识别钢筋所处位置及数量，即先验知识可帮助检测人员判断钢筋可能的位置，预估测量误差范围。

根据已有技术资料的实测结果，钢筋典型雷达图像参见图 4.2.1-1～4.2.1-3。

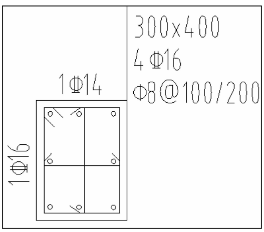


图 4.2.1-1 **试件及钢筋布置图**

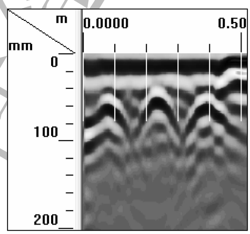


图 4.2.1-2 **试件长边侧主筋扫描剖面图**

注：图 4.2.1-2 给出的是采用 2GHz 天线测试柱子单侧主筋数量及保护层厚度的图像。图中右侧层位上移部分为受边界影响所造成的畸变。

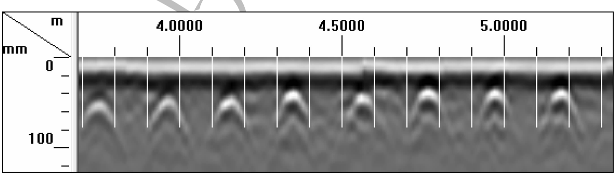


图 4.2.1-3 **试件箍筋筋扫描剖面图**

4.2.2 对于梁、柱，可选择与拟检测钢筋分布相垂直的面作为测面，测试单层钢筋数量及钢筋间距。一般情况下，钢筋混凝土保护层厚度较小，选择高频天线，检测精度高，试验对比表明：对保护层厚度小于 100mm，且钢筋间距较大（大于 80mm）时，用 900 MHz 天线可有效识别钢筋数量及间距；但对钢筋间距较小时，采

用 1500 MHz 天线识别钢筋数量及间距，效果较好；当钢筋直径较大（大于 25mm），钢筋净间距不大于 25mm 时，雷达法与磁感应法一样，识别效果不佳。

对于多层钢筋探测，一般的电磁感应法无法识别多层钢筋；同样受多层钢筋表层钢筋的电磁屏蔽影响，雷达法检测易造成漏判或误判，此时，可采用增加不同角度楔形垫块进行辅助探测，调整电磁波入射角度，减小或规避表层钢筋屏蔽作用。对于混凝土板、墙，在单侧面无法辨识两层钢筋情况下，应选择板顶、板底及墙体两侧作为测面。已有实验室检测试验表明：当存在多层钢筋时，上下层钢筋错位大于于 50mm 时，雷达法识别多层钢筋的效果较好，且采用高频（1500 MHz 以上）天线的复合天线阵的探测方式，识别效果更好。当多层钢筋的上下层钢筋错位较小时，雷达法识别率有限，采用特殊分析软件，可适当提高雷达法识别多层钢筋的效果。部分检测参考图见图 4.2.2-1～图 4.2.2-2 所示。

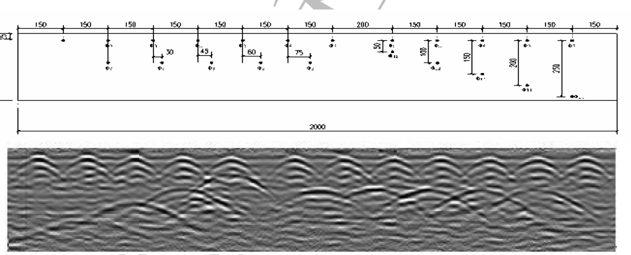


图 4.2.2-1　混凝土中钢筋偏位探测剖面图（参考）

注：上图是单天线探测不同钢筋偏位雷达图像典型特征。

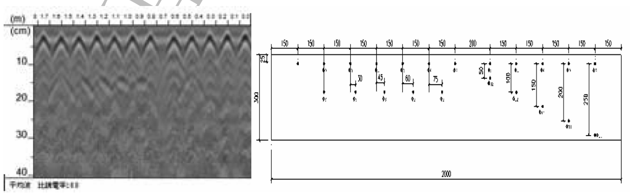


图 4.2.2-2　混凝土中钢筋剖面图（参考）

注：上图是手持式雷达探测钢筋位置雷达图像典型特征。

参考相关技术资料，三维成像技术所获取的检测结果见

图4.2.2-3。

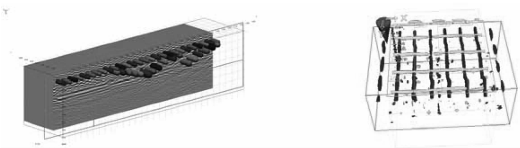


图 4.2.2-3　**三维成像技术图例**

注：上图是不同三维软件分析处理混凝土中钢筋的探测。

4.2.3　由于构件混凝土保护层厚度范围一般在 15mm～100mm 之间(施工控制不当时，混凝土保护层厚度可能小于 15mm，特别是板内钢筋、梁柱箍筋等)，雷达低频天线无法或难以识别测距较小的目标体，因此对雷达天线主频应有相应要求和规定(参见第 3.2.1 条的条文说明)，不同主频天线的测试精度有所差别，对混凝土保护层厚度检测，当待测混凝土保护层厚度小于 50mm 时，尽可能采用较高的主频天线雷达检测系统进行检测。目前国内外已有产品，雷达天线主频可高于 2000 MHz，有条件时，宜采用 2000 MHz 以上天线进行测量，考虑经济成本及国内产品，作了第 1 款规定；理论分析表明，混凝土保护层厚度识别精度大于 1mm，对主频天线的要求过高，主频天线过高后，其识别深度限制较大，当前雷达分析软件的分析识别率可达 1mm，为了适应当前市场需求和辨识精度要求，本标准给出了第 4 款和第 4.2.5　条规定；随着雷达设备软硬件的发展，今后的要求将有所变化。

4.2.4　雷达法检测混凝土结构质量属于无损检测法，用于混凝土保护层厚度检测时，条件允许情况下，均应对检测数据进行校核。

4.2.5　由于建筑使用功能需要，经常会在混凝土构件中预埋管线(PVC 管)，管线设置不当可能引起混凝土开裂，因此，有时需探明管线埋设位置；有其他需求时，也需要探明管线位置。因预埋管线位置探测方法与钢筋位置探测方法一致，为避免重复，不再单独列出检测要求。

4.3 内部缺陷检测

4.3.1 因为雷达检测系统单侧收发成像能力优于其他无损检测手段(如超声波法),故其在混凝土无相对检测面实现透射法检测时可优先采用,雷达法可作为传统声波透射法的补充检测方法。

4.3.4 当检测区域存在钢筋干扰或情况较为复杂时,现场检测宜符合以下规定:

1 天线辐射角度对于单体天线是固定的,辐射角度的调整主要指分体式天线,辐射角度越小,钢筋对缺陷的屏蔽越小。

2 水平采样间隔即在相邻两处干扰源之间应获取较多的有效数据,视具体情况而定,在设置采集参数时建议大于 256 道/m 或大于 64 道/s。

3 干扰钢筋是指处于目标物与检测面之间的钢筋,当检测区域存在干扰钢筋时,将会对雷达检测产生不利影响,在结构内部缺陷检测前,应对干扰钢筋进行探测,明确干扰钢筋的分布情况,为结构内部缺陷检测的测线布置提供依据。

4 结合第 3 款所测得的干扰钢筋的分布情况布置测线,所布置的测线的投影不应与干扰钢筋重合,否则将对检测结果产生严重干扰。

5 当天线的极化方向与干扰钢筋平行时,干扰钢筋目标反射的能量相对集中,其图像易于识别;当天线的极化方向与干扰钢筋垂直时,由缺陷目标反射的能量相对集中,缺陷图像易于识别。

参照已有技术资料,雷达对不同试块的扫面图像见图 4.3.4-1～4.3.4-2。

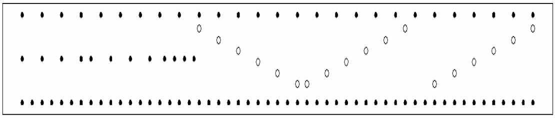


图 4.3.4-1　**混凝土构件缺陷布置图**

注:图中黑点标示钢筋,圆圈标示孔洞缺陷。

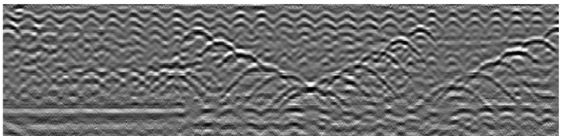


图 4.3.4-2　**混凝土构件缺陷图**

注:上图是天线阵列式雷达多极化方向与干扰钢筋走向平行时的孔洞缺陷雷达图像典型特征。

4.3.7　使用雷达法检测混凝土结构内部缺陷时,不同使用者表述方式差异很大,使用者难以使用,且无法判断缺陷的性质、埋深等信息,因此本条规定:检测技术人员应按规定记录检测数据,且用图形表达具体的检测信息,以便本检测机构或其他检测机构复核检测数据的真实性、有效性和准确性,避免出现虚假检测报告。

4.4　混凝土构件几何尺寸检测

4.4.1　受现场条件限制,混凝土构件某一方的几何尺寸难以直接测量时,如板厚、墙厚等,可优先选用雷达检测法测量混凝土构件几何尺寸,当构件埋置在不同介质中难以直接测量,且几何尺寸有变化时(如覆土楼盖反梁的高度检测),也可采用雷达法检测。

对现状楼板进行厚度测试,典型实验室检测数据见图 4.4.1-1。

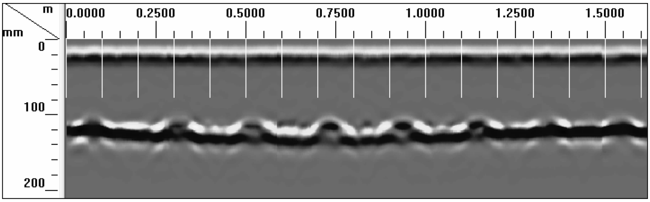


图 4.4.1-1 **楼板厚度典型检测数据剖面图**

雷达法检测精度取决于介质中电磁波传播速度的计算准确性,在检测过程中遇到非均匀介质(如多层材料的混凝土结构等)的情况居多,故其波速计算或介电常数的标定影响测试精度。目前雷达分析软件可实现精度级别为1mm。其余未尽事宜详见4.2.3条文说明。

4.4.3 检测构件几何尺寸(分层厚度)时应检测多个测点尺寸,平行重复检测多次,测量数据变化幅度变化不大,可有效降低检测误差。

5.2 检测数据分析

5.2.2 单个雷达图像上的缺陷典型特征可概括为以下情况。

1 孔洞缺陷图像表现为典型的单侧双曲线波组。

2 垂直裂缝图像表现为裂缝顶端、底端的两条双曲线波组，并且对应于顶端的双曲线的幅度大于底端的双曲线的幅度；水平裂缝图像表现为强烈的平面反射；斜裂缝图像表现为与其相同倾斜角度的平面反射。

3 不密实图像表现为与其相似范围的分散强反射。

参考相关技术资料的试验，混凝土内部缺陷典型雷达剖面图像详见图 5.2.2-1～图 5.2.2-10。

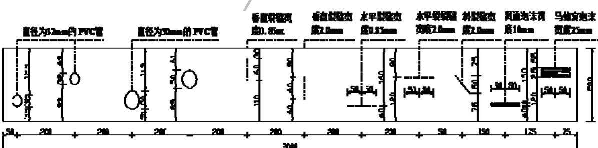


图 5.2.2-1 混凝土缺陷布置图

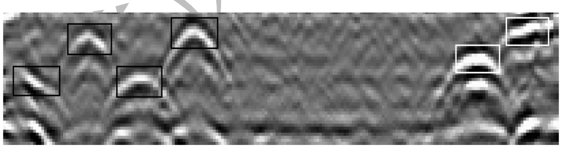


图 5.2.2-2 混凝土结构孔洞、不密实缺陷图

注：图中黑色方框标示孔洞缺陷位置，白色方框标示不密实缺陷位置。

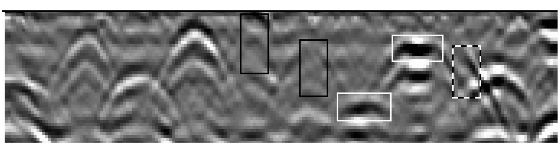


图 5.2.2-3 混凝土结构裂缝缺陷图

注:上图给出的是裂缝注水后的雷达图像典型特征;其中黑色方框标示垂直裂缝位置,白色方框标示水平裂缝位置,虚线方框标示斜裂缝位置。

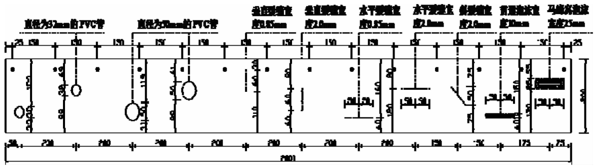


图 5.2.2-4　混凝土缺陷布置图

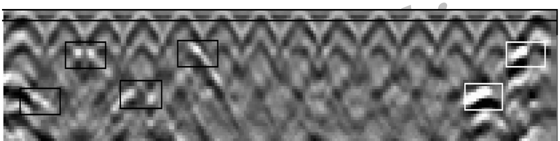


图 5.2.2-5　混凝土结构孔洞、不密实缺陷图

注:图中黑色方框标示孔洞缺陷位置,白色方框标示不密实缺陷位置,横向实线标示钢筋位置。

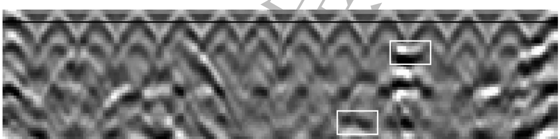


图 5.2.2-6　混凝土结构裂缝缺陷图

注:上图给出的是裂缝注水后的雷达图像典型特征,其中白色方框标示水平裂缝位置,横向实线标示钢筋位置。

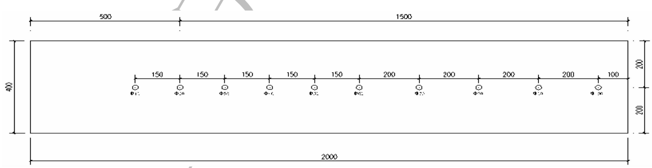


图 5.2.2-7　混凝土缺陷布置图

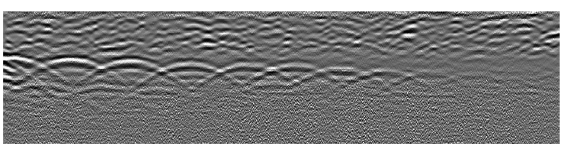


图 5.2.2-8　混凝土结构孔洞缺陷图

注:上图给出的是圆形孔洞的雷达典型图像。

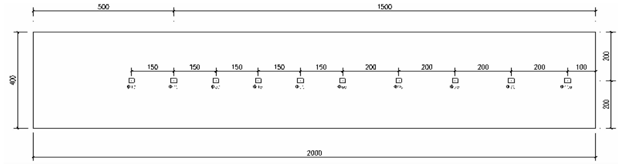


图 5.2.2-9　**混凝土缺陷布置图**

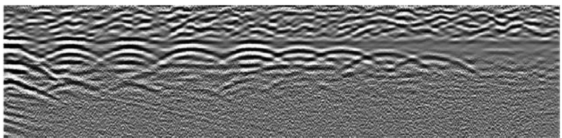


图 5.2.2-10　**混凝土结构孔洞缺陷图**

注:上图给出的是方形孔洞的雷达典型图像。

5.2.4　对雷达法检测混凝土结构保护层厚度、构件几何尺寸等参数的检测数据的处理(如保护层计算点数的确定、合格率计算、方差计算,有效数值保留位数等)按现行国家标准《混凝土结构施工质量验收规范》GB50204、《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T50784 的规定执行,为避免重复规定,本标准不再作具体规定。

5.3　检测报告

5.3.1　检测报告的编制现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T50344、《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784 有明确的规定,为避免重复规定,本标准对相同部分不再作具体规定。具体编制内容和要求可按《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T 50784-2013 中第 3.5 节的第 3.5.1 条至第 3.5.3 条执行。

《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T50784-2013 中,对检测报告包括的内容规定如下:

1　委托单位名称;

2　建筑工程概况,包括工程名称、结构类型、规模、施工日期及现状等;

3　设计单位、施工单位及监理单位名称;

4 检测原因、检测目的，以往的检测情况概述；

5 检测项目、检测方法及依据的标准；

6 检测方式、抽样方案、抽样方法、检测数量与检测的位置；

7 检测项目的主要分类检测数据和汇总结果、检测结果、检测结论；

8 检测日期、报告完成日期；

9 主检、审核和批准人员的签名。

5.3.2 雷达法检测属无损检测方法，雷达波受周边环境等影响较大，不同的环境条件，需选择不同的雷达天线及特定的预设参数，如雷达主机型号(产地)、天线主频、工作方式、扫描率、采样范围、采样点数、叠加次数等参数。为使检测参数可溯源，且可复检、验证检测参数，需对混凝土结构的检测结果用图示方式表达。图示中应对缺陷位置、分布等参数进行标注；保护层厚度可根据要求及检测剖面图绘制“测线距离-厚度”散点图。